第38卷 第5期
2021年9月

干 旱 区 研 究
ARID ZONE RESEARCH

Vol. 38 No. 5
Sep. 2021

宁夏夏季极端高温变化特征及其与北极海冰的关系

王 岱[1,2], 王素艳[1,2], 王 璠[1,2], 李 欣[1,2], 杨建玲[1,2]

(1. 中国气象局旱区特色农业气象灾害监测预警与风险管理重点实验室,宁夏 银川 750002;
2. 宁夏气象防灾减灾重点实验室,宁夏 银川 750002)

摘 要: 选取近57 a宁夏20个气象站夏季逐日最高气温、NCEP/NCAR再分析及北极海冰资料,利用气候统计诊断方法,分析了宁夏夏季极端高温的气候异常特征及其与北极海冰的联系。结果表明:宁夏夏季极端高温总强度、事件频次及最长持续日数自1961年以来总体呈增加趋势,尤其1990s后期至2000s中期是年代际增加最快的时段;极端高温总强度偏强年,宁夏处于500 hPa位势高度场正中心的南边,北边冷空气不易入侵,有利于宁夏夏季极端高温偏强;前期春季格陵兰海、巴伦支海、喀拉海地区海冰密集度偏高时,激发500 hPa位势高度距平场上出现正负相间的波列自北向南、自西向东往欧亚地区稳定传播,造成乌拉尔山高压脊减弱,使得欧亚中高纬地区以纬向环流为主,导致宁夏夏季极端高温强度偏强。本研究结果旨在为宁夏夏季极端高温预测提供理论依据。

关键词: 宁夏; 夏季; 极端高温; 北极海冰

由于全球气候变暖,气候变化问题越来越受到关注,气候变暖背景下的极端天气气候事件发生频率也急剧上升,由此给人类社会带来了巨大的经济损失。IPCC第五次评估报告指出[1],全球地表持续升温,1880—2012年全球平均温度已升高约0.85 ℃,全球范围内极端气候事件发生频率更加频繁、强度更大,因此对极端气候的研究也日益得到重视。中国西北地区是典型的内陆干旱区,是亚洲中纬度干旱区的核心部分,是西风带气候和季风气候相互作用的过渡地带,对全球气候变化响应敏感,并对区域和全球气候变化具有相应的反馈作用[2],在全球气候变暖背景下,极端天气气候事件的发生更加频繁[3-5]。对西北地区极端高温的研究表明,极端高温事件发生频次同区域性增暖呈显著正响应[6],空间上,增温率大的区域其极端高温日数增加,极端低温日数显著减少,年际变化上,极端低温日数减少幅度大于极端高温日数增加幅度,气温日较差呈减小趋势,存在非对称性增温特征[7]。

大气环流异常是形成高温热浪的直接原因,西太平洋副热带高压和南亚高压与中国高温天气关系密切[8-10]。对我国北方地区而言,影响极端高温事件的主要原因是对流层中高层的位势高度异常[11];宁夏高温天气偏多和偏少年,极涡强度及位置、副热带高压的强度和位置具有明显差异[12],在极端高温事件偏多年份,副热带高压位置偏西,强度偏强,偏少年高压脊位置东移,副热带高压东退,范围缩小[13];西安高温发生的典型环流特征,即南亚高压与西太平洋副热带高压(简称副高)同时增强,并在对流层高层相互贯通[14];当南亚高压偏强且南亚高压中心位置偏北时,夏季中低纬度尤其是30°~50°N位势高度明显升高,有利于新疆高温日数偏多[15]。极地海冰作为大气的冷源,对大气环流和气候的影响是全球性的,其可激发出全球大气异常遥相关型波列,表现出具有与赤道太平洋海温异常同样重要的作用,在某些情况下,其影响甚至可以超过后者[16-17];中国位于格陵兰下游,因此,格陵兰附近海冰变化能够改变极地气团性质并通过环流异常影响后期中国的天气气候[18],当春季格陵兰海、巴伦支海的海冰异常偏多时,贝加尔湖及西南的蒙古高原地区通常被大范围的异常高压所控制,有利于近地面温度升高,同时由于乌拉尔山阻塞高压减弱,极地冷空气南下减弱,有利于东亚中纬度区域温度升高[19-20];

收稿日期: 2020-12-07; **修订日期:** 2021-03-23
基金项目: 宁夏自然科学基金项目(2019AAC03252);中国气象局创新发展专项(CXFZ2021Z011)
作者简介: 王岱(1990-),女,硕士研究生,主要从事极端天气气候研究. E-mail: wangd123@126.com
通讯作者: 王素艳. E-mail: nxwsy_cn@sina.com

且当北极海冰发生异常时,中国夏季高温异常的响应是滞后的,当前期或同期的北极海冰出现异常增多(减少)时,中国夏季高温场上"南区(两广南部、云南南部、西藏南部地区)"、"北区(黄河以北地区)"高温异常偏少(偏多),与海冰变化反位相[21]。

在气候变暖大背景下,自2010年后宁夏极端高温事件频发且多集中出现,对群众生活、安全生产、城市运行、农业生产及生态建设等产生不利影响,尤其2017年夏季,极端高温事件强度、范围、持续时间创历史之最,使得中部干旱带发生严重干旱,城镇居民用电、用水压力急剧增大。由于之前大多学者对宁夏夏季极端高温的研究时段在2012年以前,此后相关分析研究较少,且对影响宁夏极端高温的外强迫因子分析甚少,而北极海冰作为影响中国气温的重要外强迫因子,对宁夏夏季高温的影响,值得深入探讨。故本文重点针对1961—2017年夏季极端高温异常特征及其与北极海冰的关系进行研究,旨在为夏季极端高温预测提供理论依据。

1　研究区概况与方法

1.1　研究区概况

宁夏回族自治区位于中国西北部的黄河中上游,地理位置为104°17′~109°39′E,35°14′~39°23′N,属于典型的大陆性气候,在我国的气候区划中跨越3个气候区,最南端的六盘山区属于半湿润区,卫宁平原以北属于干旱区,其他地区为半干旱区。宁夏气候温凉,气温日较差大,避暑资源丰富,光照充足,太阳辐射强,降水少且年内、年际间变率大。研究区及气象站点分布情况见图1。

1.2　数据来源

气温数据选取1961—2017年宁夏20个国家级气象站逐日最高气温数据,数据来源于宁夏气象信息中心。大气环流数据选取1961—2017年逐月位势高度场再分析数据,水平分辨率为2.5°×2.5°,来源于美国国家环境预报中心/国家大气研究中心NCEP/NCAR(https://psl.noaa.gov/data/gridded/data.ncep.reanalysis.derived.surfaceflux.htm)。海冰数据选取1961—2017年逐月海冰密集度数据,水平分辨率为1°×1°,数据来源于英国哈德莱(Hadley)中心(https://www.metoffice.gov.uk/hadobs/hadisst/data/download.html)。

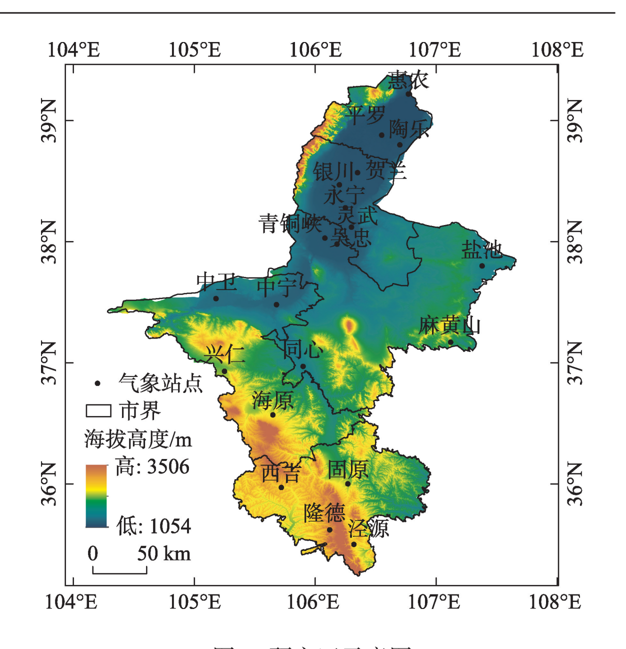


图1　研究区示意图

Fig. 1　Spatial distribution of the meteorological stations in Ningxia

1.3　研究方法

1.3.1　极端高温指标的定义　分析时段为夏季(6—8月),根据世界气象组织(WMO)对单站极端气温指标的定义方法,结合Russo等[22]对该方法的改进结果,故夏季极端高温阈值、强度、频次、日数和极端高温持续日数的定义如下:

单站极端高温阈值:对于给定的某日(d),在d-15和d+15之间以及研究期1961—2017年,共31×57 d范围内日最高气温的90%分位数为该日高温的阈值,且当日最高气温≥25 ℃。夏季共有92 d,故有92个阈值。

单站极端高温日:当日最高气温大于当日的高温阈值时,定义当日为极端高温日。

单站极端高温强度:每年夏季所有极端高温日最高气温与极端高温阈值之差的总和为极端高温总强度。

单站极端高温事件频次:若某站连续3 d及其以上出现极端高温日,则记为1次单站极端高温事件。

单站最长极端高温持续日数:连续的极端高温日的最长持续天数。

1.3.2　统计方法　采用夏季极端高温指标序列,通过回归方法寻找环流场信号,即用极端高温指标序列(x),分别与环流场上每个格点上的序列(y)建立一元回归方程,得出每个格点上的回归系数,计算

公式如下:

$$b_0 = \bar{y} - b\bar{x} \tag{1}$$

$$b = \frac{\sum_{i=1}^{n} x_i y_i - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i\right)\left(\sum_{i=1}^{n} y_i\right)}{\sum_{i=1}^{n} x_i^2 - \frac{1}{n}\left(\sum_{i=1}^{n} x_i^2\right)} \tag{2}$$

式中:b表示每个格点上对应的回归系数;$\bar{y}$表示环流场上每个格点的多年平均值;$\bar{x}$表示极端高温指标序列多年平均值;b_0表示每个格点上回归方程的截距;x_i表示极端高温指标序列逐年值;y_i表示环流场上每个格点的逐年值,i=1, 2, 3......n,n为年份数。对回归系数进行显著性检验时用F检验,原假设为总体的回归系数为零,统计量为:

$$F = \frac{r^2}{\left(\frac{1-r^2}{n-2}\right)} \tag{3}$$

给定显著性水平α,当$F > F_\alpha$时,则认为回归方程是显著的,回归系数b通过了显著性水平 为α的检验。相关方法和合成方法均引用文献[23],其中相关系数的检验用t检验,若$|t| \geqslant t_\alpha$,则表示相关系数通过了显著性水平 为α的检验。文中分析用到的时间序列,均为宁夏20个站点时间序列平均的结果。

2　结果与分析

2.1　夏季极端高温变化特征

从宁夏夏季极端高温事件频次、极端高温总强度、最长极端高温持续日数的时间序列可以看出(图2),1961年以来,均呈明显的上升趋势,且具有较一致的变化特征,即极端高温事件频次增加,极端高温总强度和最长极端高温持续日数亦增加。极端高温事件频次、总强度和最长持续日数具有明显的年代际变化,1990s之前,变化总体较为平缓,年际变率相对较小;1990s后期至2000s前期,增加趋势十分明显,是年代际增加最快的时段;从2000s后期开始,频次、总强度和最长持续日数呈相对减缓趋势,但年际变率较大,2017年总强度和最长持续日数创历史同期极值。

从年代际空间演变图上看(图3),极端高温事件频次呈明显年代际变化特征,1960s各地发生频次为0.3~0.9次,1970s略有增加,为0.3~1.3次,中南部地区增加幅度略大于北部地区,1980s有所下降,为0~0.7次,1990s增加为0.6~1.2次,2001年以来各地极端高温事件持续增多,2000s和2010s分别达1.4~2.7次和1.4~3.4次,北部频次多于中南部。与之相似,宁夏极端高温总强度在1960s为2.5~8.9 ℃,1970s为4.0~11.4 ℃,1980s略有减弱,为1.0~7.4 ℃,1990s增强为7.0~20.6 ℃,2000s和2010s则达14.7~40.4 ℃和15.8~53.5 ℃,北部极端高温总强度明显高于中南部(图4)。最长极端高温持续日数具有增加-减少-增加的年代际变化,1960s较少,为1.4~3.2 d,1970s全区一致性增加,为2.1~4.7 d,1980s再次减少,为0.7~2.7 d,1990s、2000s、2010s开始持续增加,分别为2.5~4.3 d、3.6~5.0 d、3.7~6.7 d(图5)。

2.2　极端高温的大气环流异常特征

2.2.1　极端高温异常年500 hPa高度场特征　用各高温指标分别进行与环流场、海冰场的回归分析和合成分析,得出的结果基本一致,故以极端高温总强度指标为代表,对影响极端高温的机制进行探讨。用1961—2017年宁夏夏季极端高温总强度序

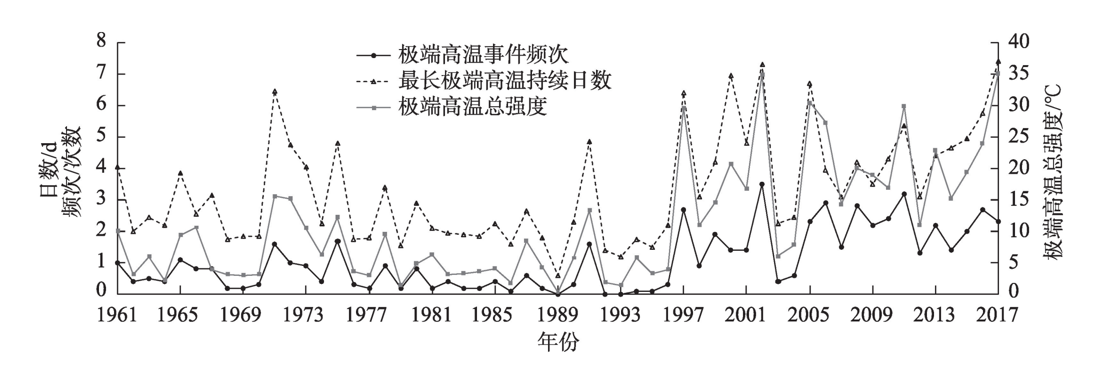


图2　1961—2017年宁夏平均极端高温事件频次、极端高温总强度、最长极端高温持续日数变化特征

Fig. 2　Annual changes of the frequency, the total intensity of extremely high temperature and the longest lasting days in summer from 1961 to 2017

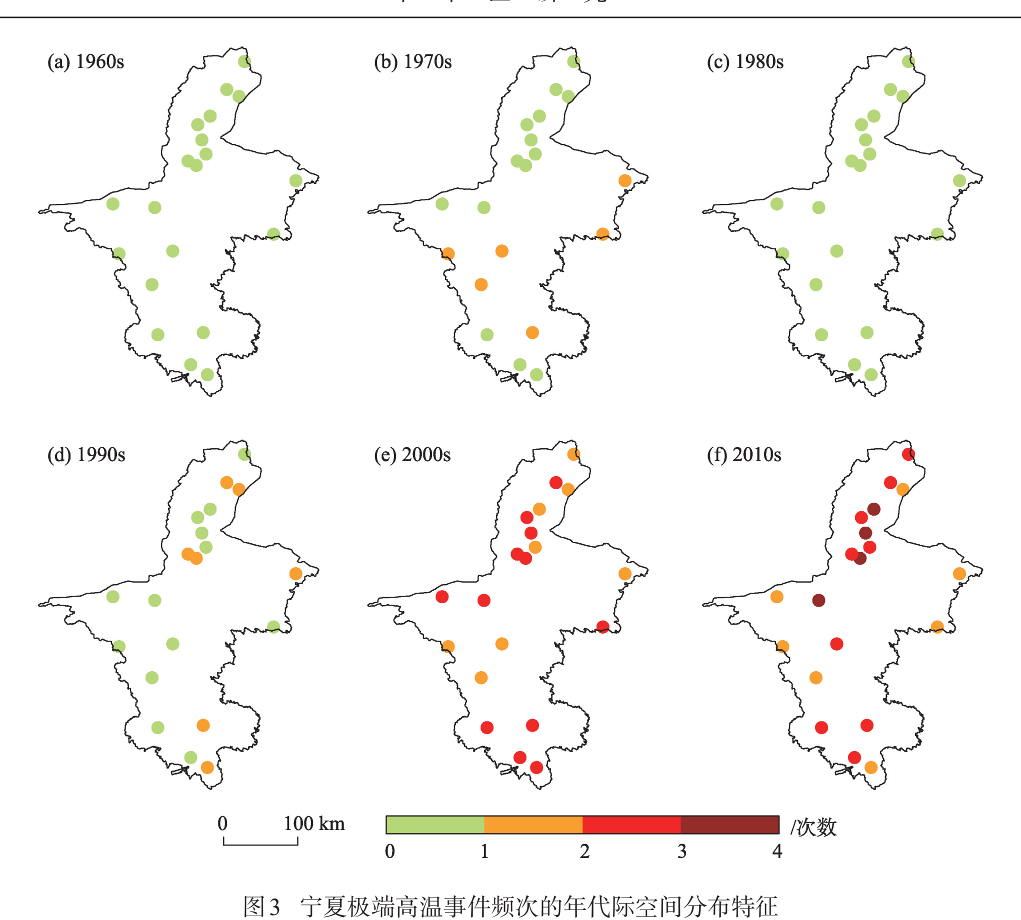


图3 宁夏极端高温事件频次的年代际空间分布特征

Fig. 3 Decadal spatial distribution characteristics of the frequency of extremely high temperature events

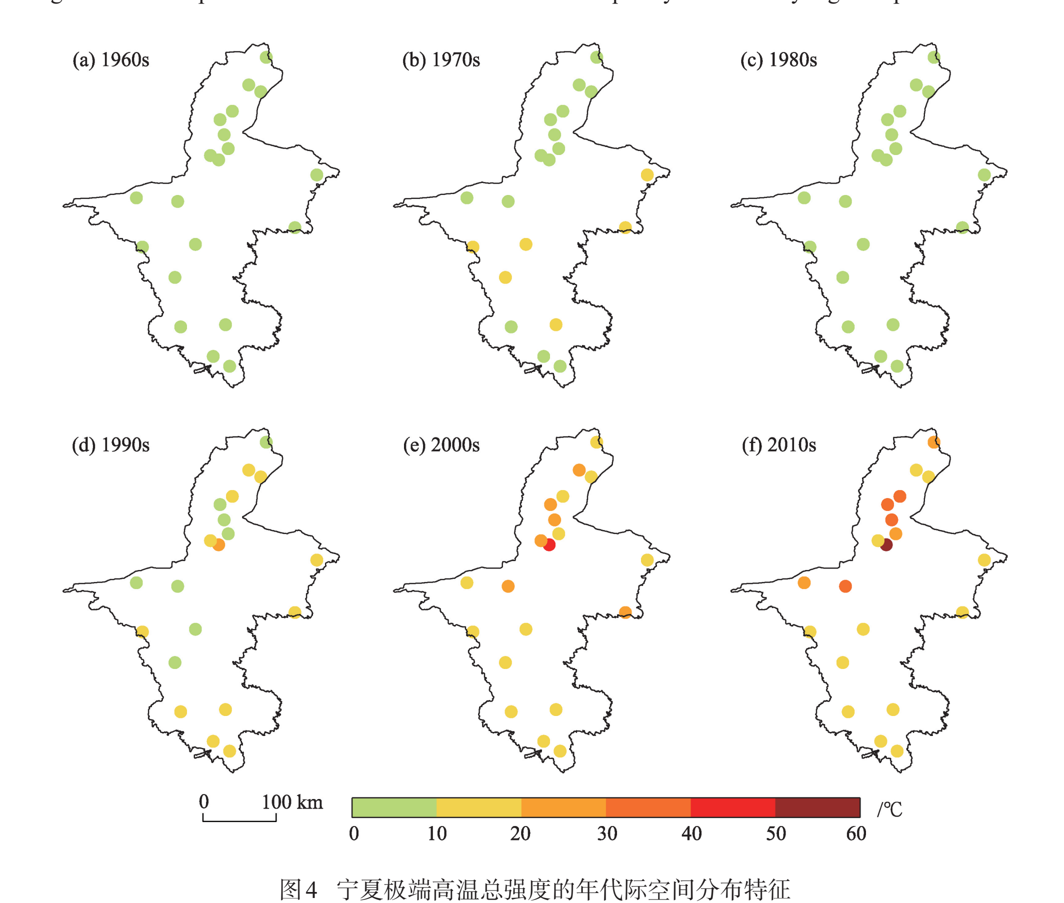


图4 宁夏极端高温总强度的年代际空间分布特征

Fig. 4 Decadal spatial distribution characteristics of the total intensity of extremely high temperature

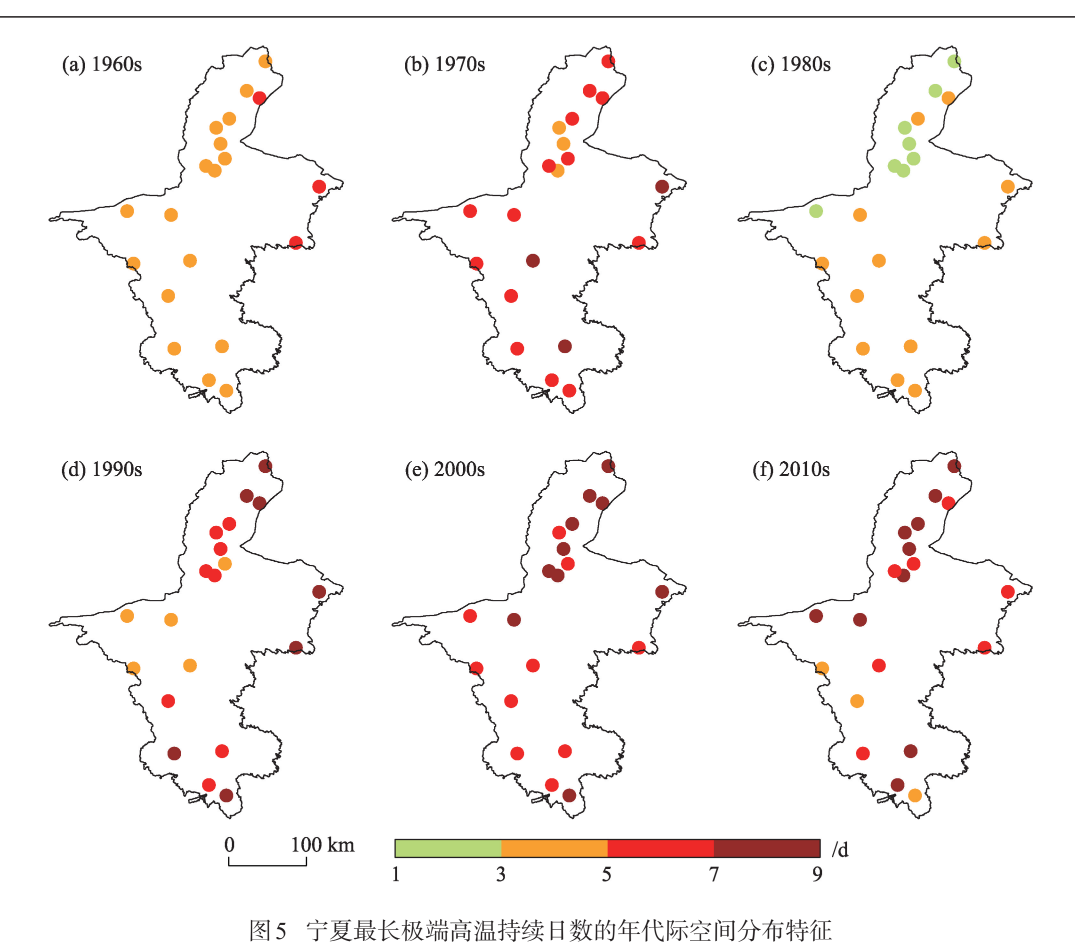


图5　宁夏最长极端高温持续日数的年代际空间分布特征

Fig. 5　Decadal spatial distribution characteristics of the longest lasting days of extremely high temperature

列回归同期500 hPa位势高度场(图6a),可以看出极端高温强度偏强年中国北方及其以北位势高度距平场为正,西西伯利亚以西为负,宁夏处于正相关区域,这种"北负南正"的形势有利于气温偏高。将标准化后的极端高温总强度值最高的前5 a(2017年、2002年、2005年、2011年、1997年)作为高温偏强年,最低的5 a(1989年、1979年、1993年、1986年、1992年)为高温偏弱年,将强、弱年夏季500 hPa位势高度距平场分别进行合成。结果显示,在极端高温强度偏强年,位势高度距平场分布与图6a中的回归场分布相似,大陆暖高压控制着我国北方,宁夏处于正高度中心的南边;西太副高面积增大且西伸,北界限北抬至30°N以北,副高偏强,致使大陆暖高压加深加强,有利于宁夏夏季高温偏强(图6b);而极端高温强度偏弱年,宁夏上空环流呈"西高-东低"分布,新疆北部高度场偏高,我国东北至日本一带高度场偏低,有利于高纬度冷空气向南侵袭,不利于宁夏气温的偏高(图6c)。

将极端高温强度偏强年和偏弱年各5 a的距平环流场进行了逐年对比,发现中高纬度关键影响系统的分布比较相似,但位置稍有不同,5个偏强年和5个偏弱年均未出现相反特征的年份。

2.3　北极海冰对夏季极端高温的影响

2.3.1　北极海冰与夏季极端高温的关系　分析前期北极海冰与宁夏夏季极端高温总强度的关系,发现极端高温总强度与前期春季格陵兰海、巴伦支海、喀拉海地区海冰密集度(去除线性趋势)呈显著正相关($|t| \geq t_{0.05}$,图7阴影部分),即以上关键区域春季海冰密集度偏高有利于宁夏夏季极端高温强度偏强。将选定的海冰关键区进行区域平均得到海冰密集度序列,从图8可以看出,海冰密集度偏高,则极端高温强度偏强,两者相关性显著,1961—2017年的相关系数达到0.42($|t| \geq t_{0.01}$),1979年以后相关系数达0.71($|t| \geq t_{0.001}$),1997年和2017年海冰密集度达到极大值时,夏季极端高温总强度也达到极大值。

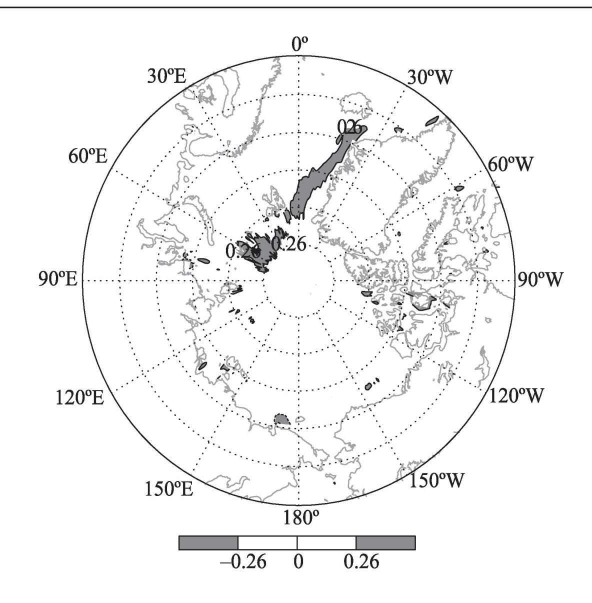
为进一步证明极端高温异常年和海冰异常年是否具有一致性,通过对比,发现在暖背景下21 a年

注:图a中阴影部分代表通过0.05显著性水平的区域,等值线为回归系数;图b、图c中等值线表示平均高度场,阴影部分表示距平场。

图6 1961—2017年夏季极端高温强度序列回归同期500 hPa位势高度场分布及异常年合成分布

Fig. 6 Distribution of the intensity series of extremely high temperature from 1961 to 2017 regressed 500 hPa potential height field in the same period, and composite distribution in abnormal years

间(1997—2017年),有15 a均为两者正位相一致的年份,且海冰的前5个高值年(2010年、2011年、2012年、2013年、2017年)中,2011年、2013年和2017年也为极端高温总强度排前5位的异常偏强年;在冷背景下18 a间(1979—1996年)有16 a均为两者负位相一致的年份,海冰后5个低值年(1984年、1994年、1983年、1990年、1982年)中,1982年、



注:阴影部分表示通过了0.05显著性水平的区域。

图7 1961—2017年宁夏夏季极端高温强度序列与前期春季北极海冰场的相关系数分布

Fig. 7 Correlation coefficient distribution between the intensity series of summer extremely high temperature in summer and Arctic sea ice field in early spring from 1961 to 2017

1983年也为极端高温总强度排后5位的异常偏弱年(图8)。

2.3.2 *海冰异常影响宁夏夏季极端高温的机理* 利用图8海冰密集度序列回归500 hPa位势高度场,可以看到当海冰密集度偏高时,乌拉尔山附近位势高度场偏低($F>F_{0.05}$),阻塞高压偏弱,中高纬地区以纬向环流为主,而海冰密集度偏低时相反(图9a)。另外,将标准化的海冰密集度序列值最高的5 a作为海冰密集度高值年,最低5 a为低值年。将其高、低值年500 hPa位势高度场进行合成,可以看出,当海冰密集度偏高时,其分布型与图9a相似,即乌拉尔山高压脊和以东的低槽异常偏弱,阻塞形势偏弱,且中高纬“正-负-正”分布型稳定维持,使得该地区以纬向环流为主,冷空气活动偏弱(图9b),海冰低值年呈相反的分布型(图9c)。

春季关键区海冰密集度序列回归同期夏季500 hPa位势高度场(图9a),其与极端高温总强度序列回归500 hPa位势高度场(图6a),在中高纬60°~100°E有相似的环流系统,即在乌拉尔山地区呈显著的负相关,表明当海冰密集度偏高时,乌拉尔山高压脊偏弱,反之亦然。因此,选择乌拉尔山地区(60°~100°E,55°~80°N,即$|t|\geq t_{0.05}$区域)区域平均

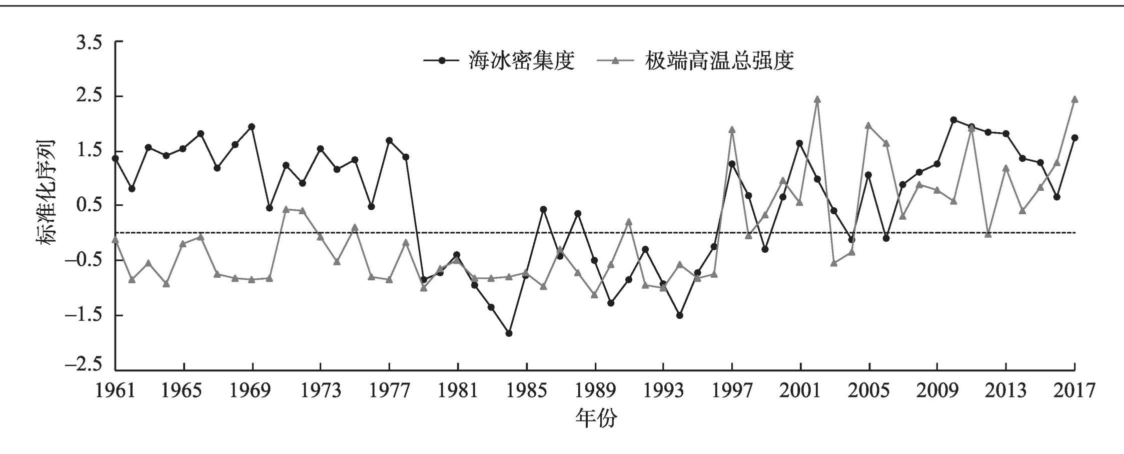


图8　1961—2017年春季关键区海冰密集度序列与宁夏夏季极端高温总强度序列

Fig. 8　Series of sea ice density of key areas in spring and the total intensity of extremely high temperature from 1961 to 2017

注:图a中阴影部分代表通过0.05显著性水平的区域,等值线为回归系数;图b、图c中等值线表示平均高度场,阴影部分表示距平场。

图9　1961—2017年春季关键区海冰密集度序列回归同期500 hPa位势高度场分布及异常年合成分布

Fig. 9　Distribution of sea ice density of key areas in spring from 1961 to 2017 regressed 500 hPa potential height field in summer, and composite distribution in abnormal years

的500 hPa位势高度来表征乌拉尔山高压脊的强度变化,由图10可见,关键区海冰密集度序列与乌拉尔山高压脊的强度变化表现出较好的反位相关系,相关系数达到−0.36($|t| \geq t_{0.01}$)。即海冰密集度增加,导致负的海表温度(SST)异常,会减少海洋对大气的热量输送,因此,局地的地面气温和海平面气压场(SLP)由于海冰的持续异常而首先发生明显变化。而海冰可以激发北半球大气产生遥相关型,这种遥相关型可以看做二维Rossby波,具有相当正压结构,并沿一定的波导传播[24]。关键区海冰密集度增加,使得该地区反射增大,进而阻止了海洋与大气的热量交换,造成该地区能量收入减少,位势高度比常年偏低。由图11可知,海冰关键区到低纬地区有一正负相间的波列自北向南、自西向东往欧亚地区稳定传播,因此,造成乌拉尔高压脊减弱,另外北极海冰增加造成极地与中纬度地区的厚度梯度增加,阻挡了极地冷空气向南传播,造成了中国北方夏季的极端高温天气。

3　讨 论

一些研究表明,极地海冰不仅与局地高纬度大气环流存在联系,而且与中低纬乃至全球的大气环流存在联系,北极海冰面积变化可激发遥相关型波列影响大气环流和气候[16,24]。武炳义等[25]的研究表明,海冰偏多(少)时,夏季亚洲大陆热低压加深(减弱),500 hPa 西太平洋副热带高压位置偏北(南)、强度偏强(弱),南压高压偏弱(强),东亚夏季风易偏强(弱)。而本文主要分析极地关键区海冰作用于中高纬地区环流系统进而影响宁夏夏季极端高

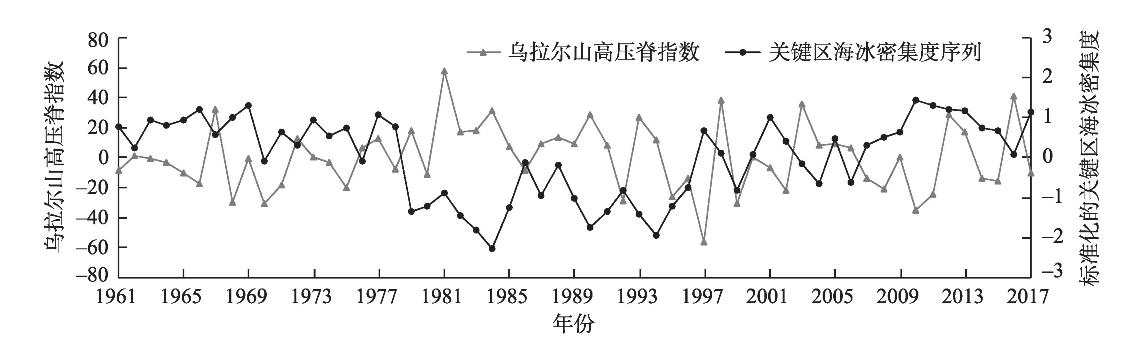


图10 1961—2017年春季关键区海冰密集度序列与同年夏季乌拉尔山高压脊指数序列

Fig. 10 Series of sea ice density of key areas in spring and the high pressure ridge index of Ural Mountain in summer from 1961 to 2017

图11 海冰密集度异常年500 hPa位势高度场距平场的极地投影分布

Fig. 11 Composite distribution of 500 hPa anomaly height field in the abnormal years of sea ice density on polar projection mode

温的机理，并没有讨论海冰对中低纬度环流系统的影响，而前文中海冰异常年的环流合成分析表明，海冰偏多、偏少年西太副高(588线)的面积有较大差别，说明海冰对西太副高有一定的影响。

关键区海冰密度与宁夏夏季极端高温强度的关系存在明显的年代际特征，1979年以来两者关系变得尤为密切，两者相关系数达到0.71($|t| \geq t_{0.001}$)，而1979年以前相关系数不足0.2，分析其原因可能与气候变暖有关，即在气候变暖的背景下，宁夏极端高温事件与海冰的关系越来越显著。

4 结 论

(1) 宁夏夏季极端高温总强度、高温事件频次及最长高温持续日数自1961年以来呈增加趋势，且具有明显的年代际变化；1990s后期至2000s中期，增加趋势十分明显，是年代际增加最快的时段，2000s后期以来，总强度、最长持续日数、事件频次的增加趋势均呈减缓状态，但年际变率较大。宁夏各地极端高温日数、强度、最长持续日数在2000s和2010s普遍增多、增强，北部地区增加大于中南部地区。

(2) 宁夏极端高温总强度偏强年，500 hPa位势高度场上，中国北方处于正高度距平场控制下，宁夏处于正高度中心的南边，北边冷空气不易入侵，有利于宁夏夏季极端高温偏强；偏弱年宁夏上空环流为“西高-东低”分布，有利于高纬度冷空气向南侵袭，不利于极端高温偏强。

(3) 前期春季格陵兰海、巴伦支海、喀拉海地区海冰密集度偏高时，在其上空激发正负相间的波列自北向南、自西向东往欧亚地区稳定传播，造成乌拉尔山高压脊偏弱，使得欧亚中高纬地区以纬向环流为主，造成了宁夏夏季极端高温强度偏强。

参考文献(References):

[1] IPCC. Climate Change 2013: The Physical Science Basic Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panelon Climate Change[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2013.

[2] 王劲松, 陈发虎, 靳立亚, 等. 亚洲中部干旱区在20世纪两次暖期的表现[J]. 冰川冻土, 2008, 30(2): 224-323. [Wang Jinsong, Chen Fahu, Jin Liya, et al. The response to two global warming periods in the 20th century over the Arid Central Asia[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2008, 30(2): 224-323.]

[3] 杨霞, 赵逸舟, 李圆圆, 等. 乌鲁木齐极端天气事件及其与区域气候变化的联系[J]. 干旱区地理, 2009, 32(6): 867-873. [Yang Xia, Zhao Yizhou, Li Yuanyuan, et al. Extreme weather events in Urumqi and their relation with regional climate change[J]. Arid Land Geography, 2009, 32(6): 867-873.]

[4] 胡宜昌, 董文杰, 何勇. 21世纪初极端天气气候事件研究进展[J]. 地球科学进展, 2007, 22(10): 1066-1075. [Hu Yichang, Dong Wenjie, He Yong. Progress of the study of extreme weather and climate events at the beginning of the twenty first century[J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(10): 1066-1075.]

[5] Gao X J, Zhao Z C, Filippo G. Changes of extreme events in regional climate simulations over East Asia[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2002, 19(5): 927-942.

[6] 王鹏祥, 杨金虎. 中国西北近45a来极端高温事件及其对区域性增暖的响应[J]. 中国沙漠, 2007, 27(4): 649-655. [Wang Pengxiang, Yang Jinhu. Extreme high temperature events and response to regional warming in recent 45 years in Northwest China [J]. Journal of Desert Research, 2007, 27(4): 649-655.]

[7] 齐月, 陈海燕, 房世波, 等. 1961—2010年西北地区极端气候事件变化特征[J]. 干旱气象, 2015, 33(6): 963-969. [Qi Yue, Chen Haiyan, Fang Shibo, et al. Variation characteristics of extreme climate events in Northwest China during 1961-2010[J]. Journal of Arid Meteorology, 2015, 33(6): 963-969.]

[8] 刘嘉慧敏, 郑然, 娄盼星, 等. 2017年7月陕西高温热浪天气成因及前期信号初探[J]. 干旱气象, 2019, 37(2): 233-242. [Liu Jiahuimin, Zheng Ran, Lou Panxing, et al. Causes of heat wave weather in Shanxi in July 2017 and preceding signals[J]. Journal of Arid Meteorology, 2019, 37(2): 233-242.]

[9] 吴遥, 唐红玉, 蒋兴文, 等. 重庆市一次特强区域性高温天气过程诊断[J]. 干旱气象, 2019, 37(5): 817-826. [Wu Yao, Tang Hongyu, Jiang Xingwen, et al. Diagnosis of a regional severely high temperature weather process in Chongqing[J]. Journal of Arid Meteorology, 2019, 37(5): 817-826.]

[10] 岳岩裕, 吴翠红, 周悦, 等. 不同环流背景下极端高温天气特征和预报服务要点[J]. 干旱气象, 2018, 36(6): 1027-1034. [Yue Yanyu, Wu Cuihong, Zhou Yue, et al. Weather feature and service points of extreme high temperature under different circulation situation[J]. Journal of Arid Meteorology, 2018, 36(6): 1027-1034.]

[11] 孙建奇, 王会军, 袁薇. 我国极端高温事件的年代际变化及其与大气环流的联系[J]. 气候与环境研究, 2011, 16(2): 199-208. [Sun Jianqi, Wang Huijun, Yuan Wei. Decadal variability of the extreme hot event in China and its association with atmospheric circulations[J]. Climatic and Environmental Research, 2011, 16 (2): 199-208.]

[12] 陈楠, 彭维耿. 宁夏高温多、少年平均环流及OLR场特征分析[J]. 干旱气象, 2004, 22(2): 23-27. [Chen Nan, Peng Weigeng. Analysis on features of average circulation and OLR field during the years with more and less high temperature weather in Ningxia [J]. Journal of Arid Meteorology, 2004, 22(2): 23-27.]

[13] 杨婧, 贾宏元, 杨宝玲, 等. 宁夏夏季极端高温异常特征及其成因初探[J]. 宁夏功臣技术, 2015, 14(1): 10-15. [Yang Jing, Jia Hongyuan, Yang Baoling, et al. Abnormal characteristics and causes of extreme high temperature events in summer of Ningxia [J]. Ningxia Engineering Technology, 2015, 14(1): 10-15.]

[14] 李博, 陈婷, 王楠, 等. 2017年与2014年西安极端高温天气及其环流特征对比分析[J]. 干旱区研究, 2019, 36(3): 645-656. [Li Bo, Chen Ting, Wang Nan, et al. Extremely high temperature and circulation features in Xi'an in 2017 and 2014[J]. Arid Zone Research, 2019, 36(3): 645-656.]

[15] 陈颖, 邵伟玲, 曹萌, 等. 新疆夏季高温日数的变化特征及其影响因子[J]. 干旱区研究, 2020, 37(1): 58-66. [Chen Ying, Shao Weiling, Cao Meng, et al. Variation of summer high temperature days and its affecting factors in Xinjiang[J]. Arid Zone Research, 2020, 37(1): 58-66.]

[16] 黄士松, 杨修群, 蒋全荣, 等. 极地海冰变化对气候的影响[J]. 气象科学, 1995, 15(4): 46-56. [Huang Shisong, Yang Xiuqun, Jiang Quanyong, et al. The effects of the polar sea ice on climate[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 1995, 15(4): 46-56.]

[17] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 冬季北极喀拉海、巴伦支海海冰面积变化对东亚冬季风的影响[J]. 大气科学, 1999, 23(3): 267-275. [Wu Bingyi, Huang Ronghui, Gao Dengyi. The impact of variation of sea-ice extent in the Kara sea and the Barents sea in winter on the winter monsoon over East Asia[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1999, 23(3): 267-275.]

[18] 柏晶瑜, 徐祥德, 苗秋菊. 北极海冰"强信号"影响域[J]. 气象学报, 2000, 58(4): 485-491. [Bai Jingyu, Xu Xiangde, Miao Qiuju. The Arctic sea-ice "strong-signal" region[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2000, 58(4): 485-491.]

[19] 吴磊, 陈海山, 周洋. 北极海冰年际变化对东亚中纬度夏季陆面热力异常的指示作用及其可能原因[J]. 气象科学, 2019, 39(4): 427-436. [Wu Lei, Chen Haishan, Zhou Yang. Indicative role of interannual variations of Arctic sea ice on summer land surface thermal anomalies in the mid-latitude of East Asia and its possible cause[J]. Journal of the Meteorological Sciences, 2019, 39(4): 427-436.]

[20] 程鲁尧. 北极海冰减少对北半球中纬度夏季温度的影响[D]. 南京: 南京大学, 2019. [Chen Luyao. Impact of Declining Arctic Sea Ice on the Summer Air Temperature in Northern Hemisphere Mid-latituede[D]. Nanjing: Nanjing University, 2019.]

[21] 方茸, 杨修群. 中国夏季高温与北极海冰的联系特征[J]. 气象, 2009, 35(3): 81-86. [Fang Rong, Yang Xiuqun. Summer maximum air temperature variability in China and its association with

the Arctic sea ice concentration[J]. Meteorological Monthly, 2009, 35(3): 81–86.]

[22] Russo S, Dosio A, Graversen R G, et al. Magnitude of extreme heat waves in present climate and their projection in a warming world [J]. Journal of Geophysical Research, 2014, 19(22): 12500–12512.

[23] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2007. [Wei Fengying. Modern Climate Statistical Diagnosis and Prediction Technology[M]. Beijing: China Meteorological Press, 2007.]

[24] 方之芳, 谭友邦, 隋学海. 夏季北极海冰激发的500 hPa遥相关型[J]. 大气科学, 1991, 15(1): 53–60. [Fang Zhifang, Tan Youbang, Sui Xuehai. Teleconnection pattern between the Arctic ice area and the 500 hPa geopotential height field during the Northern Hemispheric summer[J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 1991, 15(1): 53–60.]

[25] 武炳义, 黄荣辉, 高登义. 北极海冰的厚度和面积变化对大气环流影响的数值模拟[J]. 气象学报, 2001, 59(4): 414–428. [Wu Bingyi, Huang Ronghui, Gao Dengyi. Numerical simulations on influence of sea-ice thickness and extent variation in arctic on atmospheric circulation[J]. Acta Meteorologica Sinica, 2001, 59(4): 414–428.]

Characteristics of summer extremely high temperature in Ningxia in connection with Arctic sea ice

WANG Dai[1,2], WANG Suyan[1,2], WANG Fan[1,2], LI Xin[1,2], YANG Jianling[1,2]

(1. Key Laboratory for Meteorological Disaster Monitoring and Early Warning and Risk Management of Characteristic Agriculture in Arid Regions, China Meteorological Administration, Yinchuan 750002, Ningxia, China; 2. Ningxia Key Laboratory of Meteorological Disaster Prevention and Reduction, Yinchuan 750002, Ningxia, China)

Abstract: The study of the relationship between the extremely high temperature in the Ningxia area and Arctic sea ice within the current climate change scenarios is a great significance to reveal the impact of Arctic sea ice on summer extreme temperatures. Based on maximum temperature data derived from meteorological stations in Ningxia, NCEP/NCAR reanalysis and Arctic sea ice data from 1961 to 2017, the extremely high temperature index was calculated, and its threshold was defined as the 90th percentile of daily maxima, centered on a 31 day window. Subsequently, the climatic characteristics of the summer extremely high temperature in Ningxia, and its relationship with Arctic sea ice were analyzed using the statistical methods of regression, correlation, resultant and so on. Results show that, in the area, the total intensity, frequency of events and the longest lasting days with extremely high temperature in summer had a significantly increasing trend since 1961, and presented obvious interdecadal changes. In particular, the period from the late 1990s to the mid-2000s was the fastest growing interval. After the late 2000s, the increasing trend slowed down, but the interannual variation rate remained high. In addition, the above mentioned extremely high temperature index in summer generally increased across Ningxia, and strengthened in the 2000s and 2010s, in particular, the increase in the northern region was greater than that in the central and southern regions. In the intenser year of extremely high temperature intensity in Ningxia, the northern region of China was control under the positive anomaly field with 500 hPa geopotential height field, and Ningxia was in the south of it. This impeded the cold air in the north from flowing through, which resulted in high temperature detected in summer in Ningxia. In the weak year, the circulation mode over Ningxia was high in the west and low in the east, which was advantageous to the high latitude cold air inflowed southward, but disadvantageous to enhanced extreme high temperature. In the early spring, when the sea ice density in the Greenland Sea, Barents Sea, and Kara Sea is high, to excited the wave train on the 500 hPa geopotential height field steadily propagated from north to south and west to east, that resulting in the Ural Mountain High Ridge weakened, and the middle and high latitude area of Eurasia dominated by zonal circulation, and then caused the strong summer extremely high temperature intensity in Ningxia. The present study aimed to deepen the understanding of the variation of summer extremely high temperature in the Ningxia region, as well as to provide atheoretical basis for their prediction.

Keywords: Ningxia; summer; extremely high temperature; Arctic sea ice